

DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN PONDASI DANGKAL TANAH EKSPANSIF PADAT MENGGUNAKAN TIRE-SOIL

Putera Agung¹, M.A; Budi, D¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Geoteknik Politeknik Negeri Jakarta (PNJ)
Kampus Baru-UI Depok, Jawa Barat. Indonesia

E-mail: puteraagungmagung@sipil.pnj.ac.id budi.damianto@yahoo.com¹

Abstrak

Analisis daya dukung dan penurunan memainkan peranan penting untuk memprediksi kemampuan tanah di dalam mendukung pondasi. Tanah ekspansif memiliki daya dukung yang rendah dan penurunan yang besar saat mengalami pembasahan yang terus-menerus (*rewetting*), walaupun telah mengalami proses pemadatan. Penggunaan ban bekas (*tire-soil*) diuji dengan menggunakan model di laboratorium untuk dapat dimanfaatkan sebagai usaha memperbesar daya dukung dan mengurangi penurunan pondasi. Studi model menggunakan model pondasi dangkal dan 2 (dua) tipe tanah pondasi. Tipe pertama menggunakan tanah ekspansif asli yang dicampur 43,5 % *bentonite* (TEA-B); dan tipe kedua adalah TEA-B yang dicampur bahan tambah tipe 15 % *fly ash* (TEA-B + FA). Validasi data hasil pengujian menggunakan perangkat lunak Program Elemen Hingga konvensional (PLAXIS) untuk analisis geoteknik. Data hasil pengujian menunjukkan bahwa daya dukung pondasi dangkal pada tanah tipe TEA-B + FA lebih besar daripada tanah tipe TEA-B; penurunan yang terjadi pada tanah TEA-B + FA adalah lebih kecil daripada TEA-B.

Kata kunci: Pondasi Dangkal, Tanah Ekspansif, *Tire-Soil*, Daya Dukung, Penurunan.

Abstract

Carrying capacity and declining analysis play an important role in predicting the ability of the soil to support the foundation. Expansive soil has a low carrying capacity and a large decrease when experiencing continuous wetting (*rewetting*), even though it has undergone a compaction process. The use of used tires (*tire-soil*) is tested using a model in the laboratory to be used as an effort to increase carrying capacity and reduce the decline in foundation. The study model uses a shallow foundation model and 2 (two) types of foundation soil. The first type uses original expansive soil mixed with 43.5% bentonite (TEA-B); and the second type is TEA-B which is mixed with 15% fly ash (TEA-B + FA). Validation of test results using conventional Element Finite Program (PLAXIS) software for geotechnical analysis. Data from the test results show that the carrying capacity of shallow foundations in TEA-B + FA types is greater than that of TEA-B types; the decrease that occurs in TEA-B + FA soil is smaller than TEA-B.

Key words: Shallow Foundation, Expansive Soil, *Tire-Soil*, Carrying Capacity, Decline.

1. PENDAHULUAN

Tanah ekspansif merupakan jenis tanah yang sering menimbulkan masalah serius di dalam rekayasa pondasi bangunan konstruksi. Tanah ekspansif ini mempunyai ciri-ciri kembang-susut yang besar, dimana tanah akan mengembang apabila musim penghujan dan menyusut apabila musim kemarau. Kerusakan-kerusakan yang ditimbulkan akibat fenomena “kembang-susut” ini umum berupa: retak yang terjadi pada bangunan; pengembangan lantai; jalan bergelombang, dan sebagainya. Kerusakan akibat tanah ekspansif ini merupakan proses yang terjadi secara terus menerus, maka untuk itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mengurangi kerusakan dan resiko yang terjadi. Prosedur umum yang

digunakan untuk rancangan dan analisis struktur pondasi dangkal yang diletakkan pada lapisan tanah lempung normal (*kaolinite* atau *illite*), tidak cukup bila diterapkan pada jenis lapisan tanah lempung ekspansif. Untuk itu, maka diperlukan suatu usaha rekayasa pondasi yang dapat mengantisipasi seluruh kerusakan yang dapat ditimbulkan oleh tanah ekspansif.

Telah banyak cara yang digunakan untuk menanggulangi masalah tanah ekspansif, antara lain dengan menstabilisasi secara kimiawi, berupa penambahan semen, kapur atau garam, di samping metode stabilisasi secara mekanis. Salah satu cara menanggulangi masalah tanah ekspansif yang akan dilakukan di dalam penelitian ini adalah dengan merencanakan perbaikan tanah pondasi

dengan menggunakan tambahan material *tire-soil* atau “*pneusol*,” dimana secara umum material *tire-soil* ini memiliki keuntungan, karena bisa meningkatkan sifat mekanik tanah baik secara *isotropik* maupun *anisotropik*.

Tire-soil merupakan suatu kombinasi dari ban dan tanah, yang bila digunakan dapat meningkatkan sifat mekanik dari tanah baik dengan cara *isotropik* maupun dengan cara *anisotropik*. Ban yang digunakan di sini adalah ban-ban bekas dari mobil atau truk. Penggunaan *tire-soil* secara luas pada aplikasi pekerjaan-pekerjaan teknik sipil yang berfungsi memperkuat struktur tanah, di samping itu dipandang lebih ekonomis karena biayanya jauh lebih ringan bila dibandingkan dengan teknologi yang lain. Di negara seperti Perancis, material seperti ini dikenal dengan nama “*pneusol*”. Material *pneusol* ini terdiri dari kombinasi ban-ban bekas dengan tanah, yang digunakan seluruhnya atau dipotong sebagian baik yang berbentuk sampah bubuk atau koheren, alami atau buatan[3], sebagaimana diperlihatkan dalam Tabel 1. Umumnya material *pneusol* yang terbuat dari ban truk seluruhnya telah diteliti memiliki tingkat kepadatan atau densitas (*weight-volume*) antara 8,0 dan 10,0 kN/m³, ini biasanya digolongkan sebagai material *tire-soil* kelas ringan.

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari beberapa pengaruh penggunaan *tire-soil* di bawah pondasi dangkal yang diletakkan pada lapisan tanah ekspansif. Pengujian dilakukan dengan menggunakan bak pengujian (*chamber test*) kedap air, sehingga tidak ada rembesan air (*undrained condition*) dari bak. Lapisan tanah ekspansif di dalam bak adalah tanah ekspansif asli ditambah dengan 43,5% *bentonite* yang dipadatkan dengan kadar air optimum atau *OMC* (w_{opt}) = 29% dan berat volume kering (γ_{dmaks}) = 1,4 gr/cm³. dan, dengan penambahan 15% *fly ash* mempunyai *OMC* = 21,5% dan γ_{dmaks} = 1,5 gr/cm³. Penambahan *bentonite* dimaksudkan agar tanah memiliki kembang susut yang lebih besar dan sensitif.

Pembebanan dilakukan secara bertahap dan waktu tertentu pada pembacaan dial

selama 24 jam sebagaimana pengujian konsolidasi hingga keruntuhan terjadi pada tanah pondasi dengan kondisi tidak jenuh (*unsaturated soil*) dengan proses 3 dan 5 hari pembasahan. Pembebanan dilakukan pada plat model pondasi dangkal di dalam bak yang diletakkan di atas lapisan tanah ekspansif. Seluruh pengujian dilaksanakan pada lapisan tanah ekspansif alami ditambah 43,5% *bentonite* (TEA-B) dengan atau tanpa *tire-soil*; dan menggunakan lapisan tanah ekspansif alami ditambah 43,5% *bentonite* yang dicampur dengan 15% *fly ash* dengan atau tanpa *tire-soil*. Hubungan yang terjadi antara tegangan dan pergerakan secara vertikal (penurunan) yang terjadi diamati sebagai bahan studi.

Penambahan *tire-soil* dengan atau tanpa 15% *fly ash* diharapkan untuk meningkatkan daya dukung dan mengurangi penurunan tanah pondasi, sehingga tipe perbaikan tanah semacam ini dapat menerima beban yang lebih besar daripada sebelumnya.

Tabel 1. Hasil uji pada perkuatan linear pada ketinggian 1 meter [3]

	Tread on edge						Sidewall			
	Bande de roulement sur chant						Flanc			
1) Nombre d'elemente										
2) Effort maximum (kN)	> 44,0	> 68,0	> 44,4	> 40,9	> 38,2	> 56,0	< 43,0	< 54,0	< 57,5	< 33,0
3) Displacement correspondant & l'event de l'element (cm)	> 43	> 26	> 14	> 20	> 24	> 13,5	> 36	46	> 38,5	> 25,5
4) Effort pour Δ L = 10 cm (kN)	26,0	45,0	21,5	26,2	21,2	49,5	18,0	25,0	22,5	20,0

	Tread flattened			Tread on edge			Sidewall		
	Bande de roulement aplatie			Bande de roulement sur chant			Flanc		
1) Nombre d'elemente									
2) Effort maximum (kN)	31,0	49,0	68,0	33,5	32,0	41,0	19,5	30,0	> 33,5
3) Displacement correspondant & l'event de l'element (cm)	12	29	44	17	32	62	7	40	> 29
4) Effort pour Δ L = 10 cm (kN)	30,0	39,0	36,0	25,0	19,0	16,0	19,0	20,0	25,0

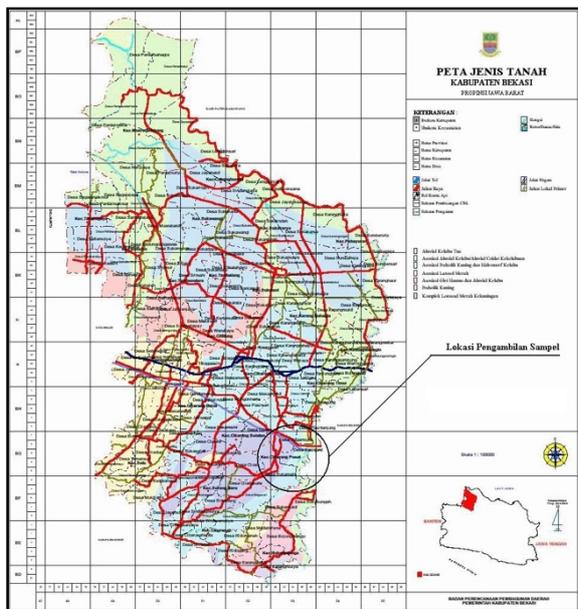
Resultate de essais sur armatures lineaires pour une hauteur de remblai de 1 m

Test results on linear reinforcement under 1 meter height

- 1) Number of elements
- 2) Maximum force
- 3) Displacement
- 4) Traction for Δ L = 10 cm

2. METODE

Pengambilan sampel tanah ekspansif dari kawasan perumahan Kota Delta Mas, Cikarang Timur. Pengambilan sampel (contoh) tanah terganggu (*disturbed sample*) dilaksanakan di kawasan perumahan Delta Mas, Cikarang Timur (Gb. 1). Dari Gambar. 1 terlihat bahwa pada umumnya kawasan perumahan ini merupakan jenis lapisan tanah dari *aluvial* hingga jenis lapisan tanah *hidromorf*, dengan sedikit jenis lapisan tanah *podsolik* dan jenis lapisan tanah *latosol* yang berwarna dominan kelabu; coklat; kuning; hingga merah. Hasil pengujian sifat-sifat fisik tanah asli (*soil properties*) dari perumahan Kota Delta Mas, Kota Administratif Bekasi, Jawa Barat diperlihatkan di dalam Tabel 2.



Gambar 1. Lokasi pengambilan sample berdasarkan Peta Jenis Tanah Kabupaten Bekasi[1]

Tabel 2. Pengujian Sifat Fisik

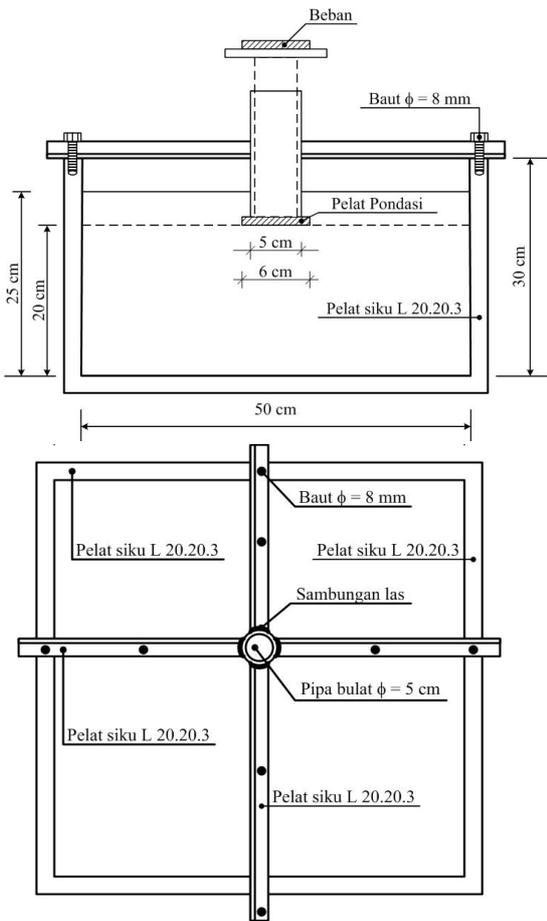
No.	Pengujian sifat fisik	Data hasil pengujian standar			Nilai Rata-rata
		Blok I	Blok II	Blok III	
01.00	Kadar air (w) (%)	32,3	21,9	15,2	24,8
02.00	Berat volume (γ_m) (gr/cm ³)	1,9	1,9	1,9	1,9
03.00	Berat isi butir (Gs)	2,63	2,63	2,62	2,62
Batas-batas Atterberg					
04.00	- Batas cair (LL) (%)	113,6	113,3	118,5	115,1
	- Batas plastis (PL) (%)	42,6	43,1	42,8	42,9
	- Indeks plastisitas (PI) (%)	71	70, 2	75,6	72,3
	- Batas susut (SL) (%)	17	18,3	16,5	17,3
05.00	Analisis ayak (% Lolos saringan No. 200)	98,6	98,3	98,4	98,5
06.00	Analisis hidrometer	50 - 60 %	50 - 60%	50 - 60%	55%
	(% Diameter < 0,002 mm)	(Lempung)	(Lempung)	(Lempung)	(Lempung)

Dari Tabel 2 diketahui bahwa kadar air tanah rata-rata tanah asli sebesar 24,81 % dan nilai berat jenis rata-rata tanah asli sebesar 2,62. Tanah lempung ekspansif alami dicampur *bentonite*, sehingga didapatkan batas cair (*LL*) = 198 % (TEA-B). Kondisi tanah pondasi yang digunakan untuk model pondasi adalah sama dengan kondisi tanah dengan harga kadar air optimum (*OMC*) dan γ_{dmaks} hasil uji pemadatan standar. Model plat pondasi dan bak uji berukuran: 50 x 50 [cm] dengan ketinggian bak 30 cm (Gb. 2).

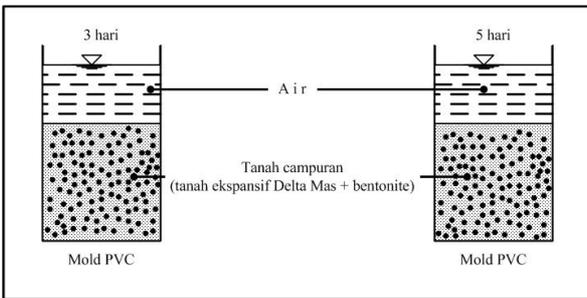
Uji pemadatan standar dilakukan pada contoh tanah TEA-B, sehingga dari hasil uji tersebut diperoleh kadar air optimum (*OMC*) dan γ_{dmaks} tanpa dan ditambah 15% *fly ash* (TEA-B+FA). Proses pembasahan terhadap tanah pondasi dilakukan dalam waktu 3 (tiga) hari dan 5 (lima) hari. Gambar 3 menunjukkan proses persiapan benda uji menggunakan *mold* PVC.

Uji pembebanan dilakukan secara bertahap berdasarkan hasil pembacaan pada dial dengan waktu tertentu sesuai dengan prosedur yang sama dengan uji konsolidasi. Prosedur pembebanan secara bertahap dilaksanakan dalam waktu 24 jam. Apabila model pondasi menunjukkan adanya keruntuhan, maka pembebanan dihentikan. Uji beban pada model pondasi tersebut menghasilkan tegangan dan penurunan. Data hasil uji digunakan sebagai bahan studi untuk menentukan daya dukung batas dan penurunan dari pondasi dangkal.

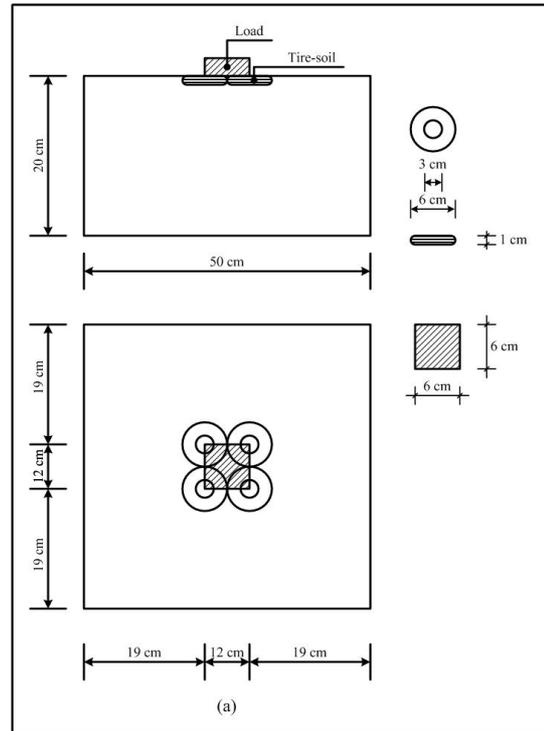
Ikatan *tire-soil* yang digunakan di dalam penelitian ini adalah kombinasi 4 dan 16 buah *tire-soil* sebagaimana diperlihatkan di dalam Gambar 4.a dan 4.b. Ikatan ini dirangkai menurut teori jaring-jaring tegangan[5], walaupun penerapan teori yang dimaksud sangat berbeda. Selanjutnya, secara umum, prosedur penelitian disusun berdasarkan Gambar 5.



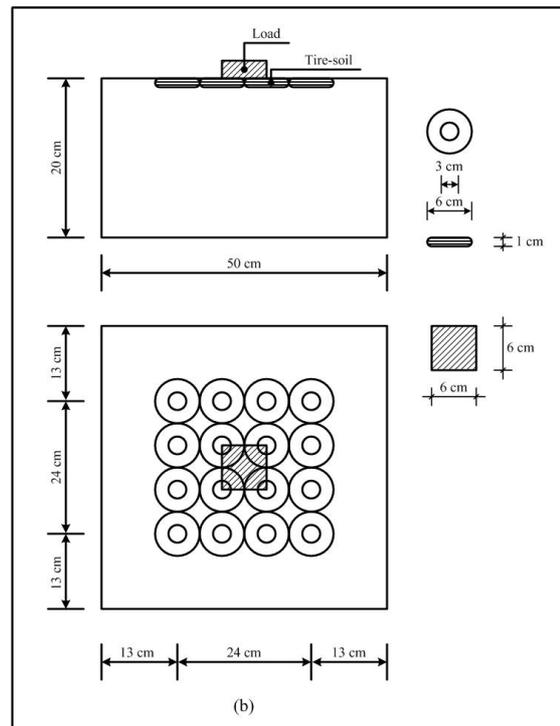
Gambar 2. Bak uji model di laboratorium



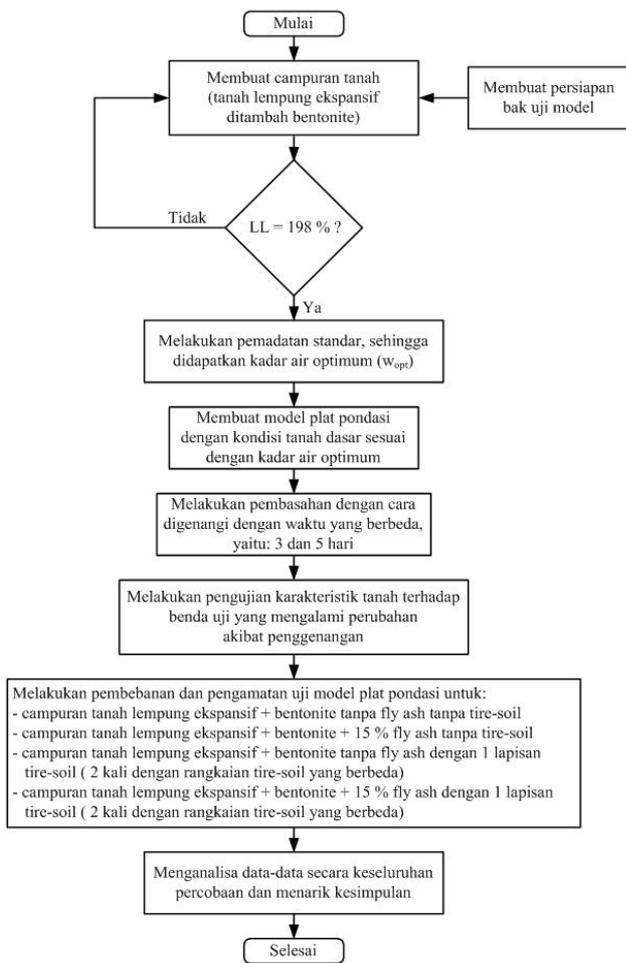
Gambar 3. Mold PVC



Gambar 4. a Tipe 4 ikatan *tire-soil*



Gambar 4. b Tipe ikatan 16 buah *tire-soil*



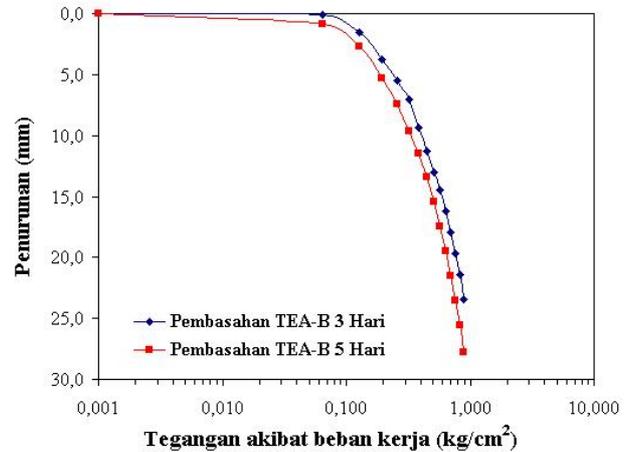
Gambar 5. Bagan alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 6 menunjukkan hubungan tegangan dan penurunan dari sampel tanah TEA-B dengan pembasahan selama 3 dan 5 hari tanpa *tire-soil*. Secara umum, perbedaan penurunan yang terjadi hampir mencapai 20%. Sesuai dengan teori tegangan efektif, perbedaan hasil penurunan disebabkan oleh terjadinya perubahan daya dukung tanah akibat bertambahnya volume air di dalam pori tanah[6].

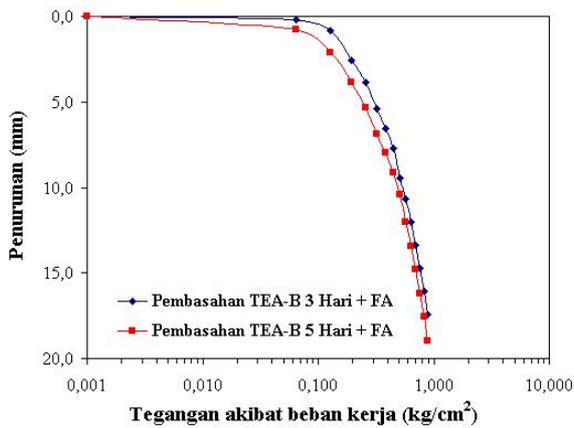
Ternyata, dari hasil pengujian pembebanan diketahui bahwa tegangan yang terjadi akibat proses pembasahan selama 3 hari lebih besar daripada tegangan yang terjadi akibat proses pembasahan selama 5 hari. Penurunan yang terjadi akibat proses

pembasahan selama 5 hari semakin bertambah besar setelah beban maksimum dihentikan dan akhirnya berhenti dalam suatu kondisi yang diasumsikan sebagai keadaan setimbang.



Gambar 6. Hubungan tegangan vs penurunan contoh tanah TEA-B tanpa *tire-soil*

Hubungan tegangan dan penurunan dari contoh tanah TEA-B + 15% *fly ash* (TEA-B+FA) dengan pembasahan selama 3 dan 5 hari tanpa *tire-soil* diperlihatkan dalam Gb. 7. Dari Gb. 7 ini jelas terlihat adanya kontribusi *fly ash* di dalam membantu terhadap peningkatan daya dukung tanah dan memperkecil penurunan. Penggunaan *fly ash* untuk stabilisasi tanah atau untuk meningkatkan daya dukung tanah adalah sangat mungkin dilakukan karena peristiwa pertukaran ion (*ion exchange*)[2]. Salah satu cara untuk mengurangi kembang-susut tanah lempung ekspansif adalah dengan cara menambahkan kation-kation seperti K^+ , Ca^{++} ; dan Mg^{++} yang diperoleh di dalam senyawa karbonat seperti material *fly ash*[4]. Selanjutnya, bahwa penggunaan kadar *fly ash* sebesar 15% sebagai proses stabilisasi kimia tanah ekspansif yang dicampur 43,5% *bentonite* adalah relatif lebih optimal, ketimbang lebih atau kurang dari 15%.

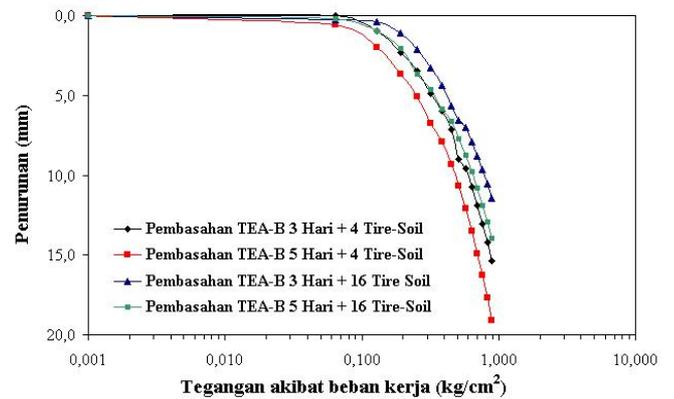


Gambar 7. Hubungan tegangan vs penurunan contoh tanah TEA-B+FA tanpa *tire-soil*

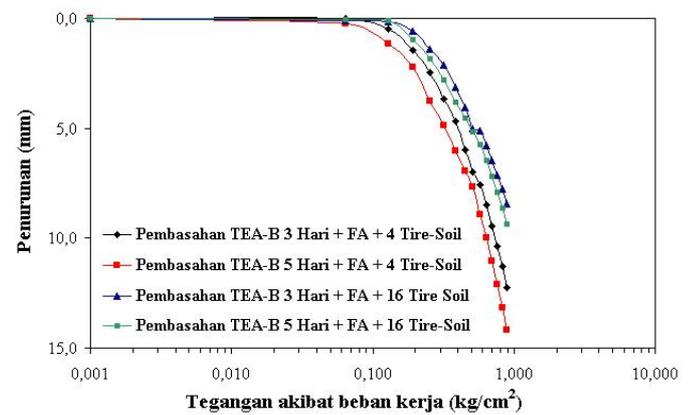
Menurut Gambar 8 menunjukkan bahwa daya dukung TEA-B dengan 4 dan 16 buah *tire-soil* dengan pembasahan 3 dan 5 hari lebih besar daripada sebelumnya (tanpa pemanfaatan *tire-soil*), hal ini membuktikan bahwa berkurangnya penurunan yang terjadi mendekati nilai rata-rata 50%. Perbedaan penurunan ini disebabkan kontribusi dari *tire-soil* secara mekanis di dalam membantu daya dukung saat dibebani, walaupun kondisi karakteristik tanah secara umum tidak memiliki perubahan. Daya dukung tanah di bawah plat pondasi menjadi terus meningkat, sehingga tanah mampu memikul peningkatan tegangan vertikal di bawah pusat lingkaran area beban (plat pondasi dan *tire-soil*). Selain itu, *tire-soil* juga merupakan pembatas antara lapisan tanah di dalam dan di luar lingkaran, sehingga kadar air lapisan tanah di dalam lingkaran *tire-soil* tidak terpengaruh oleh keadaan di luarnya. Hal ini akan membuat kadar air di dalam lingkaran *tire-soil* menjadi lebih konstan, dan daya dukung tanah menjadi lebih stabil walaupun penurunan konsolidasi tetap terjadi akibat kenaikan beban.

Dari Gambar 9 terlihat bahwa peningkatan daya dukung lebih baik setelah ditambahkan 15% *fly ash* pada contoh tanah TEA-B. Hal ini terlihat dari besar penurunan yang terjadi dapat dikurangi hingga 40% sebelumnya (tidak ada *fly ash*). Daya dukung menjadi berlipat dengan adanya *tire-soil* dan 15% *fly ash*. Kombinasi dari penggunaan 2

(dua) material dari *tire-soil* dan *fly ash* dihasilkan penurunan paling minimum.



Gambar 8. Hubungan tegangan vs penurunan contoh tanah TEA-B dengan *tire-soil*



Gambar 9. Hubungan tegangan vs penurunan contoh tanah TEA-B+FA dengan *tire-soil*

4. KESIMPULAN

Walaupun *fly ash* mampu meningkatkan daya dukung dan memperkecil penurunan tanah pondasi, namun aplikasi ini hanya mudah dilakukan di laboratorium dan sangat sulit diterapkan di lapangan. Keretakan dan rongga-rongga besar masih nampak di lapangan pasca perbaikan dengan menggunakan *fly ash*, dan sulit untuk menjamin lapisan tanah secara keseluruhan telah tercampur secara sempurna dengan *fly ash*. Penggunaan *tire-soil* dan *fly ash* ini mampu melokalisir kestabilan tanah di bawah pondasi, dan mencegah perubahan kadar air tanah yang drastis di sekeliling pondasi. Namun demikian, penelitian lanjutan masih diperlukan untuk memperhitungkan seberapa

besar kontribusi tegangan yang ditimbulkan oleh lapisan *tire-soil* atau *pneusol*.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka beberapa simpulan yang bisa dihasilkan, antara lain:

1. Secara umum, tanah ekspansif asli (TEA) menjadi sangat ekspansif setelah ditambahkan 43,5% *bentonite* (TEA-B), hal ini membuktikan bahwa nilai batas cair (LL) bisa mencapai 198%. Namun demikian, peningkatan daya dukung batas (q_{ult}) dan pengurangan penurunan (Δ) terhadap perlakuan pembasahan 3 dan 5 hari masih bisa diusahakan dengan melakukan penambahan 15% *fly ash* (FA) dengan atau tanpa *tire-soil*, walaupun tanah dalam kondisi tak jenuh tanpa pengaliran (*unsaturated undrained*).
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan daya dukung batas (q_{ult}) dan pengurangan penurunan yang optimal terjadi pada penambahan 15% *fly ash* dan 4 atau 16 buah *tire-soil*. Pengaruh *fly ash* menghasilkan struktur kepadatan tanah yang lebih tinggi. Sedangkan, 4 atau 16 ikatan *tire-soil* menyebabkan beban vertikal yang diterima model plat pondasi sebagian terdistribusi ke *tire-soil*. Modulus elastisitas tanah juga berubah akibat *fly ash* dan *tire-soil*, sehingga kekuatan tanah lebih baik daripada sebelumnya.
3. Semakin banyak rangkaian *tire-soil* di bawah struktur model plat pondasi, maka lebar *tire-soil* harus lebih besar daripada 3 B (lebar plat pondasi). Jumlah *tire-soil* yang besar akan mengurangi tegangan yang terjadi oleh pembebanan vertikal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada Jurusan Teknik Sipil, Geoteknik Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) yang telah mendukung penelitian ini hingga selesai. Serta tidak lupa kepada penerbit Jurnal Inovtek Polbeng yang berkenan menerima paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Bekasi. "Peta Jenis Tanah Kabupaten Bekasi". 2005. Jakarta
- [2] Holtz, R., D., W.D. Kovack. "An Introduction to Geotechnical Engineering". Prentice-Hall Inc, Eaglewood Cliffs, 1981. New Jersey.
- [3] Long, N., T. "Pneusol / Tire-soil". 1984. Lab. Central des Ponds et Chaussees, Paris.
- [4] Karyasuparta, S.,R. "Kriteria Tanah Mengembang dan Penanganannya". Seminar Teknik Jalan dan Jembatan Ke-3 Kalimantan Timur, 1997. Lab. MekTan-ITB. Jawa Barat
- [5] Newmark, N., M. "Influence Charts for Computation of Stresses in Elastic Foundations". Engineering Experiment Station Bulletin. 338. 1942. University of Illinois, US.
- [6] Terzaghi, K. "Theoretical Soil Mechanics". John Willey and Sons. 1943. New York.